Zbornik referatov / Collection of Papers
ISBN 978-961-93153-8-5
2. znanstvena konferenca z mednarodno udeležbo
Konferenca VIVUS – s področja naravovarstva, kmetijstva, hortikulture in živilstva
»ZNANJE IN IZKUŠNJE ZA NOVE PODJETNIŠKE PRILOŽNOSTI«
24. in 25. april 2013, Biotehniški center Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenija
---
2nd Scientific Conference with International Participation
Conference VIVUS – Environmentalism, Agriculture, Horticulture, Food Production and Processing
»KNOWLEDGE AND EXPERIENCE FOR NEW ENTREPRENEURIAL OPPORTUNITIES«
24th – 25th April 2013, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia

Obratovanje in vzdrževanje sončnih elektrarn

Miha Flegar
Gorenjske elektrarne, d. o. o., Slovenija, miha.flegar@gorenjske-elektrarne.si

Izvleček
Sončne elektrarne lahko glede na majhno število sestavnih delov in nezahtevnost obratovanja, uvrstimo med enostavne proizvodne objekte. Kljub temu je elektrarna izpostavljena staranju in posledično okvaram, ki zmanjšajo njen energijski izplen. Poškodbe se lahko pojavijo v fazi proizvodnje in montaže komponent ter med obratovanjem elektrarne. Čeprav neoptimalno obratovanje elektrarne ne štejemo med okvare, pa je ravno to največkrat vzrok za nizek energijski izplen in posledično nezadovoljstvo investitorja. Večino poškodb lahko odkrijemo že z enostavnejšimi pregledi, za podrobnejšo analizo sestavnih delov pa uporabljamo različne merilne metode. V referatu so predstavljene pogoste poškodbe na sončnih elektrarnah ter vzroki neoptimalnega obratovanja. Navedeni so načini ugotavljanja neoptimalnega energijskega izplena ter priporočila za izvajanje enostavnejših in zahtevnejših vzdrževalnih del ter pripadajoče meritve.

Ključne besede: sončna elektrarna, poškodbe, neoptimalno obratovanje, kazalec učinkovitosti

Operating and maintenance of solar power stations

Abstract
Considering the small number of their components and simplicity of their operation, solar power stations may be classified among simple production facilities. Nevertheless, power stations are exposed to aging and, consequently, malfunctions, which reduces its energy output. Damage may occur in the production and component installation phases, and during the power station operation. Although non-optimal operation is not considered a malfunction, such operation is most often the reason for low energy output and thus dissatisfaction of the investor. Most damage may be detected with simple inspections, while more complicated measuring methods are used to analyse the components in more detail. The conference paper represents frequent damage occurring on solar power stations and reasons for their non-optimal operation. Manners of establishing non-optimal energy output and recommendations to implement simple and complicated maintenance works and appertaining measurements are stated.

Key words: solar power station, malfunctions, non-optimal operation, performance ratio

1 Uvod

Fotonapetostno (PV) elektrarno lahko glede na majhno število sestavnih delov in enostavnost obratovanja štejemo med relativno enostavne proizvodne objekte. Sestavni deli elektrarne so izpostavljeni staranju in posledično poškodbam, ki lahko močno zmanjšajo energijski izplen elektrarne.

Poškodbe sestavnih delov sončne elektrarne lahko razdelimo na:

- poškodbe, ki se pojavijo v fazi proizvodnje sestavnih delov,
- poškodbe, ki se pojavijo v času montaže, in
- poškodbe, ki se pojavijo v fazi obratovanja elektrarne.

Večino poškodb lahko odkrijemo že z enostavnejšimi pregledi, za podrobnejšo analizo sestavnih delov pa uporabljamo zahtevnejše merilne metode.

2 Poškodbe v fazi proizvodnje sestavnih delov elektrarne

2.1 Sončne celice in PV moduli

Zaradi večkratne kontrole v tovarnah so poškodbe sončnih celic in modulov zelo redke. Kljub temu se lahko pojavijo poškodbe stekla, hrbtne folije, priključnih kablov in konektorjev. Poškodbe aluminijastega okvirja in stekla ponavadi nastanejo pri prevozu (z viličarji), sončne celice pa se poškodujejo zaradi visokotemperaturnih tehnoloških procesov izdelave in med ravnanjem s celicami. Okrušene ali odlomljene robove sončnih celic hitro opazimo s prostim očesom, medtem ko t. i. mikrorazpoke odkrijemo le s posebno merilno metodo – z elektroluminiscenčnim preskusom. Med nevidne poškodbe štejemo tudi slabe spoje v kontaktni mreži, med celicami, diodami in konektorji.

2.2 Razsmerniki

Fizične poškodbe razsmernika so zelo redke in predvsem posledica prevoza. Kljub tovarniški kontroli imajo lahko dobavljeni razsmerniki napačno nastavljene zaščitne funkcije (napetostna in frekvenčna zaščita) ali karakteristiko regulacije jalove moči ipd.

3 Poškodbe v fazi montaže sestavnih delov elektrarne

3.1 PV moduli

Pri nepravilnem ravnanju ali vgradnji modulov se lahko poškodujejo okvir, steklo, hrbtna folija, priključni kabli in konektorji. Previsoka mehanska obremenitev laminata (hoja po modulih) lahko povzroči mikrorazpoke sončnih celic, ki dolgoročno negativno vplivajo na izplen elektrarne.

3.2 Razsmerniki

Med vgradnjo se lahko pojavijo poškodbe ohišja in priključnih konektorjev razsmernika.

3.3 Kabli

Poškodbe izolacije enosmernih kablov so zelo pogost vzrok izpadov ali neoptimalnega obratovanja elektrarne. Poškodbe izolacije v času vgradnje ponavadi niso vidne, pod vplivom temperaturnih sprememb (raztezanja in krčenja izolacije) pa se izolacijska trdnost lahko močno zniža. Pri vgradnji je potrebna velika previdnost med polaganjem kablov preko robov kabelskih

polic, ki po rezanju ostanejo zelo ostri. Upoštevati je treba najmanjše polmere krivljenja in se izogibati zategovanju kablov.

3.4 Strešna kritina

Strešna kritina objekta ni del sončne elektrarne, vendar je izpostavljena mehanskim obremenitvam tako med vgradnjo PV modulov kot tudi med obratovanjem elektrarne. Med vgradnjo se zelo pogosto zlomijo betonski ali glineni strešniki. Predvsem so problematične poškodbe strešnikov na prekritju, saj te ostanejo skrite do prvega dežja. Nepravilna izbira ali montaža nosilne konstrukcije v kombinaciji z mehanskimi obremenitvami (sneg) je lahko vzrok za kasnejše poškodbe strešne kritine.
Strešno kritino v obliki folije lahko poškodujejo ostri robovi kabelskih polic ali PV modula in kovinsko orodje.

Slika 1: Poškodba strešnika
vir: http://www.sun-consult.de/

4 Poškodbe v času obratovanja

4.1 PV moduli

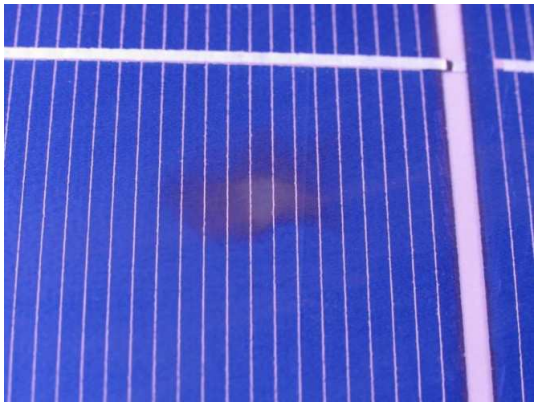
<u>Slabi spoji</u>

V času vgradnje slabi električni spoji med elementi PV modula niso vidni. Ker so med obratovanjem slabi spoji tokovno in posledično toplotno preobremenjeni, se ti temneje obarvajo in v najslabšem primeru se spoj prekine. Modul zato deluje z nižjo močjo. Slabi spoji lahko povzročijo tudi požar, saj se poleg povišane temperature lahko pojavi električni oblok, ki je v enosmernih tokokrogih še posebej problematičen.

Slika 2: Posledice slabega spoja
vir: http://www.sun-consult.de/

Vroče točke

Senčenje PV generatorja je eden od glavnih vzrokov za majhen energijski izplen. Zaradi zaporedne vezave se zmanjša tok v celotni veji, osenčena sončna celica pa postane zaporno polarizirana in predstavlja breme električnemu toku. Zato se na celici sprošča toplota, ki lahko povzroči vroče točke. Te predstavljajo lokalno poškodbo sončne celice, kar vpliva na izkoristek modula.



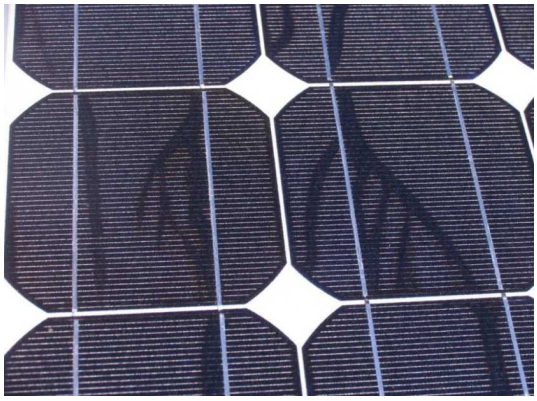
Slika 3: Vroča točka
vir: http://www.sun-consult.de/

Delaminacija

Pri modulih starejše izvedbe lahko pride do delaminacije kjer se laminat razlepi. Posledica je manjši izkoristek modula, pogosto pa se ob delaminaciji poškodujejo (prekinejo) tudi kontaktni prsti na sončnih celicah, kar lahko pomeni popolno uničenje PV modula. Zaradi napredka pri tehnologijah izdelave modulov je delaminacija redkejša poškodba, česar pa ne moremo trditi za t. i. polžje sledi.

Polžje sledi

Te so v zadnjih letih dokaj pogoste, vzroki zanje pa še niso popolnoma jasni. Ponavadi se celica vzdolž mikrorazpok razbarva, zato pojav polžjih sledi povezujejo z vlago, ki skozi mikrorazpoke prodre na sprednjo stran celice, kjer reagira s srebrom v kontaktnih prstih. Strokovnjaki ugotavljajo, da polžje sledi niso vzrok morebitnega padca moči, ampak to pripisujejo mikrorazpokam, ki lahko izolirajo posamezne segmente sončne celice [1].



Slika 4: Polžje sledi
vir: http://www.sun-consult.de/

Mikrorazpoke sončnih celic v času obratovanja nastanejo zaradi prevelike mehanske obtežbe modulov, ki jih lahko povzročijo večje količine snega na spodnjem robu strehe ob snegolovih ali hoja po modulih.

Direktni udar strele

Direktni udar strele v PV generator je zelo redek pojav, ki pa zagotovo popolnoma uniči PV modul. Z ustrezno izvedeno strelovodno zaščito močno zmanjšamo možnost direktnega udara strel.

Indirektni udar strele

Indirektni udar strele in stikalne prenapetosti so energijsko neprimerno šibkejši v primerjavi z direktnim udarom, vendar so pogostejši. Indirektni udar strele povzroči prenapetosti v opremi preko galvanskih, induktivnih in kapacitivnih povezav. Pri PV generatorjih indirektni udar strele inducira visoke napetosti v sklenjenih tokokrogih v modulu in obvodnih diodah. Pojavijo se toplotne preobremenitve in preboji PV celic, obvodnih diod in razsmernikov. S primernimi prenapetostnimi odvodniki lahko negativne učinke močno zmanjšamo.

Toča

Toča lahko poškoduje steklo PV modula, zaradi česar vlaga vdre v laminat in uniči PV modul. Danes so praktično vsi kristalno silicijevi moduli preskušeni skladno s standardom IEC 61215, ki določa tudi preskus z umetno točo, pri katerem se v 11 različnih točk PV modula izstreli ledene krogle s premerom 25 mm s hitrostjo 23 m/s [4].

4.2 Razsmerniki

Indirektni udar strele

Razsmerniki so galvansko povezani z enosmerno in izmenično stranjo elektrarne, zato so prenapetosti najpogostejši vzrok za poškodbe. Večina prenapetosti se pojavi zaradi vpliva indirektnega udara strele.

Previsoka vhodna napetost

Kadar PV generator ni pravilno dimenzioniran in so prisotni določeni pogoji (neobremenjen generator, nizka temperatura in sončno sevanje), se napetost niza dvigne nad najvišjo dovoljeno vhodno napetost razsmernika. Posledica je lahko uničenje elektronskih sestavnih delov naprave.

Slabi spoji na enosmernih konektorjih so lahko vzrok za električni oblok, ki poškoduje ali popolnoma uniči razsmernik.

4.3 Kabli

Zaradi neprimernega polaganja in uporabe kablov so zelo pogoste poškodbe na robovih kabelskih polic, ki po rezanju ostanejo zelo ostri. Zaradi premajhnih polmerov se lahko pod vplivom temperaturnih obremenitev poškoduje izolacijski plašč kabla.

Vzrok krajše življenjske dobe kablov je lahko tudi nekakovosten izolacijski plašč kabla. Vsaka poškodba izolacije kabla pa se odrazi na manjši izolacijski upornosti na enosmerni strani in v večjem okvarnem zemeljskem toku.

Ker razsmerniki stalno nadzorujejo oba omenjena parametra, napako na enosmernih kablih hitro opazimo.

Večja težava pa se pojavi pri dvopolnem zemeljskem stiku, kjer je velika možnost pojava električnega obloka.

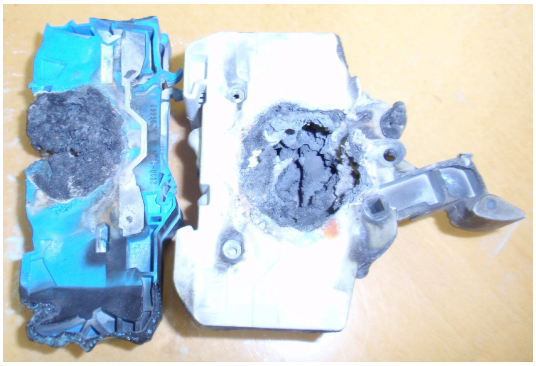
Slika 5: Poškodba zunanjega plašča kabla
vir: avtor

4.4 Nosilna konstrukcija

Nosilne konstrukcije, ki niso pritrjene na streho, ampak so le obtežene, so izpostavljene vetrnim sunkom in podtlačnim pojavom na zavetrni strani. Zato lahko pri visokih obtežbah vetra pride do premikov konstrukcije in posledično poškodb. Podtlačnim pojavom so močno izpostavljene hrbtne pločevine, ki so ponavadi nameščene na podkonstrukcijah za ravne strehe. Snežne padavine predstavljajo mehanske obtežbe tako PV modulov kot tudi podkonstrukcije.

4.5 Sekundarna oprema

Varovalčni ločilniki na enosmerni strani so močno izpostavljeni okvaram, če jih izklapljamo pod obremenitvijo. V tem primeru se ni mogoče izogniti električnemu obloku, ki poškoduje stikalni element, lahko pa povzroči električni udar ali opekline. Zato ni odveč ponovno poudariti, da enosmernih tokokrogov ne prekinjamo pod obremenitvijo. Izjema so seveda stikalne naprave, ki so temu namenjene.



Slika 6: Posledice izklopa obremenjenega ločilnika
vir: avtor

5 Neoptimalno obratovanje

5.1 Senčenje PV generatorja

Ponavljajoče senčenje

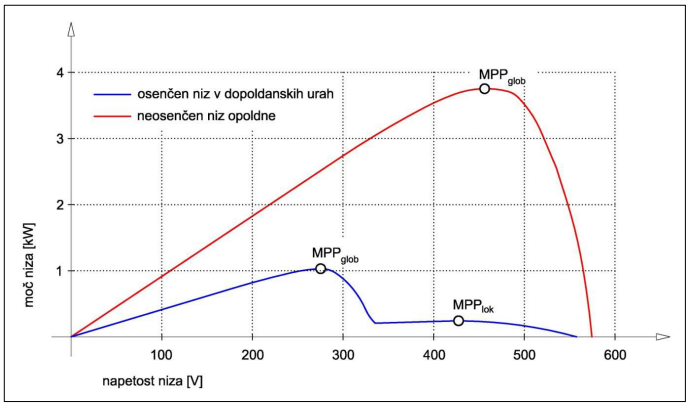
Najpogostejši vzrok slabega energijskega izplena sončne elektrarne je senčenje PV modulov. Zaradi zaporedne vezave celic in modulov se že manjše senčenje močno odrazi na izhodni moči generatorja. Ponavljajoče senčenje največkrat povzročajo bližnji objekti in vegetacija, izognemo pa se mu lahko s primerno analizo lokacije in bližnjih objektov. Pri tem ponavadi uporabljamo računalniške programe. Če se senčenju ne moremo izogniti, poskrbimo za primerno povezavo modulov v nize. S tem sicer zmanjšamo vpliv senčenja na energijski izplen, a še vedno se lahko pojavijo vroče točke. Vzrok zanje je ravno delno senčenje PV modula, kjer osenčene celice postanejo zaporno polarizirane in predstavljajo breme toku PV modula.

Občasno senčenje

Občasno senčenje povzročajo sneg, listje, ptičji iztrebki in prah. Prah je še posebej problematičen pri majhnem naklonu modulov, ker so dežne padavine manj učinkovite.
Senčenje PV modula v nizu vpliva na obliko karakteristike I/U, kar lahko povzroči obratovanje razsmernika v neoptimalni točki.
Rumenenje EVA folije
Kot vzrok senčenja PV generatorja pa omenimo še rumenenje EVA-folije. To se pojavi zaradi temperaturnih obremenitev in UV-sevanja, ki je energijsko zelo močno.

5.2 Razsmerniki

V nadaljevanju predstavljene »okvare« razsmernika so prehodnega značaja, zato obstaja velika možnost, da tako obratovanje spregledamo. Posledica je manjši energijski izplen, kar je ponavadi dovolj dober razlog za namestitev ustreznega daljinskega sistemskega nadzora.
Pregrevanje
Izkoristki novejših razsmernikov se gibljejo med 97 in 98 %. Pri razsmerniku z močjo 15 kW to predstavlja med 300 in 450 W toplotne moči, ki se sprošča pri nazivni obremenitvi. Zato so razsmerniki opremljeni s hladilnimi sistemi, ki so lahko pasivni (hladilna rebra), največkrat pa se uporablja hladilna rebra z dodatnimi ventilatorji.
Kljub hladilnim sistemom pa proizvajalci priporočajo namestitev razsmernikov na hladnejši (severni) del objektov. Ob pregrevanju razsmernika ti ponavadi znižajo izhodno moč in s tem preprečijo poškodbe.
Seveda tako obratovalno stanje (ang. *derating*) ni zaželeno, saj v času največje moči PV generatorja izgubljamo energijo.
Vzroki pregrevanja razsmernika so lahko predimenzioniran PV generator, neprimerna lokacija razsmernika, okvara hladilnih ventilatorjev ali neoptimalno delovanje hladilnega sistema.
Nepravilne nastavitve
Razlog morebitnega omejevanja izhodne moči je lahko napačno nastavljena vrednost maksimalne moči ali nepravilno nastavljena karakteristika jalove moči.
MPP sledilnik
Ob senčenju se na karakteristiki P/U niza pojavita dve izraziti točki (lokalna in globalna točka največje moči). Od algoritma delovanja MPP sledilnika pa je odvisno, ali bo razsmernik deloval v »pravi« točki največje moči. Na Sliki 7 sta karakteristiki P-U osenčenega in neosenčenega niza. Ker sledilniki MPP običajno začnejo pri napetosti odprtih sponk, bo v tem primeru razsmernik obratoval v lokalni točki največje moči MPP_{lok}. Ta pa ima približno štirikrat nižjo moč v primerjavi z dejansko točko največje moči MPP_{glob}.



Slika 7: Vpliv senčenja na P/U karakteristiko PV niza
vir: avtor

Izolacijska upornost PV generatorja
Razsmernik lahko izpade zaradi premajhne izolacijske upornosti na strani PV generatorja ali prevelikega (kapacitivnega) praznilnega toka. Napaki sta pogostejši med deževnim obdobjem. Prevelik praznilni tok pa je problematičen predvsem pri tankoslojnih modulih nalepljenih na kovinsko kritino, v kombinaciji z razsmernikom brez transformatorja.

Kratkostična moč omrežja
Premajhna kratkostična moč v priključni točki je lahko vzrok za previsoko napetost na sponkah razsmernika, kar lahko povzroči delovanje nadnapetostne zaščite v razsmerniku ali na ločilnem mestu.

6 Enostavnejši pregledi in meritve

6.1 PV generator

Enkrat letno, po močnejših neurjih, snežnih padavinah, toči ali vetru je smiselno pregledati PV generator in nosilno konstrukcijo. Pozornost namenimo tudi morebitnemu senčenju generatorja.

6.2 Razsmerniki

Priporočljivo je čiščenje hladilnih elementov razsmernika, kot so vstopno-izstopne odprtine, hladilna rebra in ventilatorji. Če opazimo, da razsmernik deluje z zmanjšano močjo, je potrebno preveriti delovanje ventilatorjev.
Če je nameščenih več razsmernikov, je zelo smiselno izračunavati dnevno proizvedeno električno energijo na inštalirano moč posameznega razsmernika. Razmerje kWh/kW_p mora biti približno enako na vseh razsmernikih. V nasprotnem primeru elektrarna ne deluje optimalno.

6.3 Meritev napetosti in toka

Z meritvijo napetosti odprtih sponk posameznega niza lahko ugotovimo hujšo poškodbo PV modula (kratki stik ali prekinitev) ali prekinjen kabel na enosmerni strani. Napetosti enakih nizov morajo biti približno enake. Zanesljivejša metoda za odkrivanje napak pa je meritev obratovalnega toka posameznega niza. Okvarjen, osenčen ali umazan niz proizvaja občutno manjši tok v primerjavi z drugimi nizi.

7 Zahtevnejši pregledi in meritve

7.1 Meritev I/U karakteristike

Meritev se izvaja v laboratoriju s pomočjo umetnega sonca, običajno pri standardnih preskusnih pogojih (STC): jakost sončnega sevanja 1000 W/m^2, temperatura celice 25 °C in spekter sevanja AM 1,5. Meritev se lahko izvede pri različnih pogojih, s čimer ugotovimo vse karakteristične točke na karakteristiki I/U: tok kratkega stika, napetost odprtih sponk ter napetost, tok in moč v točki največje moči. Rezultat meritve primerjamo s podatki iz »flash« poročila, ki smo ga prejeli ob dobavi. Zmanjšanje izhodne moči modulov mora biti znotraj tolerančnih meja, ki jih zagotavlja proizvajalec.
Meritev v laboratoriju je sicer zelo natančna, vendar nepraktična metoda, saj je treba modul demontirati. Zato uporabljamo prenosne instrumente, ki na sami lokaciji izmerijo karakteristiko I/U modula ali niza v trenutnih meteoroloških razmerah. Nekateri instrumenti omogočajo meritev parametrov na enosmerni in izmenični strani, s čimer ugotavljamo tudi izkoristek razsmernika.

7.2 Termovizijski (IR) pregled

Termovizijske kamere zaznajo IR-sevanje in ga pretvorijo v vidno sliko. Ker pregled temelji na zaznavanju toplote, lahko z njim odkrijemo vroče točke, celice v kratkem stiku in slabe spoje v

PV modulu. Pregled je priporočljivo izvesti v hladnih sončnih dneh, ko morebitna toplejša mesta bolj izstopajo. Ker steklo PV modulov odbija sončno svetlobo, lahko dobimo napačno sliko, zato module pregledamo pod različnimi koti. Termovizijski pregled izvedemo tudi na ostali opremi kot so razsmerniki, priključne omarice in kabli.

7.3 Elektroluminiscenčni (EL) pregled

EL pregled je izredno detajlen pregled modula, ki odkrije mikrorazpoke, neprevodne spoje, nečistoče in napake v sami kristalni strukturi sončne celice. PV modul priključimo na zunanji vir napetosti, zaradi česar elektroni začnejo sproščati energijo v obliki fotonov. Ker je to sevanje v nevidnem (infrardečem) spektru, s posebnimi kamerami vidimo poškodbe. Večji proizvajalci PV modulov izvedejo EL preskus v tovarni. EL preskusa ni mogoče izvajati na terenu, ampak je potrebno modul demontirati.

7.4 Kazalec učinkovitosti

Za ugotavljanje tehnične kakovosti PV elektrarne se uporablja kazalec učinkovitosti (ang. *performance ratio*, PR), ki prikaže izgube v sistemu in določa, kolikšen del realno izkoristljive vpadle sončne energije se dejansko pretvori v električno. PR je univerzalni kriterij, ki je praktično neodvisen od lokacije PV sistema in zato uporaben za primerjavo različnih PV sistemov in konceptov. Izračun upošteva dejansko količino vpadle svetlobe ter usmeritev in naklon PV generatorja. Zato je PR mnogo primernejši od t. i. polnih obratovalnih ur, ki so količnik letno proizvedene električne energije in nazivne moči generatorja (kWh/kW$_p$).
Kazalec učinkovitosti je določen kot razmerje med proizvedeno električno energijo (E_{real}) in energijo (E_{ideal}), ki bi jo PV generator proizvedel, če bi stalno deloval z izkoristkom η_{STC}.

$$PR = \frac{E_{real}}{E_{ideal}} \tag{1}$$

Proizvedeno električno energijo (E_{real}) izmeri števec na merilnem mestu elektrarne. Energija E_{ideal} pa je produkt količine globalnega sončnega obsevanja na ravnino PV generatorja (G_{PV}), njegove površine (A_{PV}) in izkoristka η_{STC}.

$$E_{ideal} = G_{PV} \cdot A_{PV} \cdot \eta_{STC} \tag{2}$$

V splošnem velja, da imajo dobri PV sistemi PR nad 70 %, zelo dobri pa nad 80 % [2]. Zaradi univerzalnosti tega kriterija se kazalec učinkovitosti pogosto uporablja kot garancija za izplen elektrarne. Kazalec učinkovitosti se običajno izračunava na nivoju dnevnih količin.

8 Zaključki

Večina sončnih elektrarn v Sloveniji je mlajših od treh let in imajo pred seboj še vsaj 12 let obratovanja. Ker so komponente sončne elektrarne izpostavljene velikim temperaturnim nihanjem, se degradacija materialov pospeši in pogostost poškodb še poveča. Zato bi morali biti lastniki sončnih elektrarn seznanjeni z vrstami poškodb, ki se pojavijo tako v fazi montaže elektrarne kot tudi v njeni življenjski dobi. Z izvajanjem enostavnejših pregledov, meritev in izračunov obstaja velika verjetnost, da odkrijemo morebitne poškodbe in neoptimalno

obratovanje elektrarne. Le tako lahko zmanjšamo verjetnost hujših defektov ter povečamo energijski izplen elektrarne na najvišjo možno vrednost.

Literatura in viri

[1] Photon International, The Solar Power Magazine, 1-2012, januar 2012.

[2] "SOLTRAIN Izkoriščanje sončne energije za proizvodnjo električne energije s pomočjo fotonapetostnih sistemov, slovenski priročnik" Ljubljana, december 2004.

[3] SMA Technologie AG, Elektronski vir, http://download.sma.de/smaprosa/dateien/7680/Perfratio-UEN100810.pdf

[4] Earthscan, "Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers. Architects and engineers, 2nd edition", 2008, Berlin

[5] Fraunhofer ISE, Elektronski vir, http://www.ise.fraunhofer.de/publications

[6] Flegar, M., Jereb, B. (2010). "Sončna elektrarna od ideje do realizacije", Forum o obnovljivih virih in učinkoviti rabi energije, Bled.

[7] Lenardič, D., (2009). "Fotonapetostni sistemi, priročnik", Ljubljana.

[8] Papler, D., Flegar, M (2011). Razvoj sončnih elektrarn, monitoring in analize proizvodnih učinkov. 10. konferenca slovenskih elektroenergetikov Ljubljana, 2011. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRE-CIRED.